

중복 마커셋 기반의 최소자승법을 이용한 피부마커 움직임 오차 보정법

Skin Marker Artefact and Reduction method using Least square method based on redundant marker set

임대섭*	김경란**	이경숙**	문정환*
	정희원	정희원	정희원
D.S.Lim	K.R.Kim	K.S.Lee	J.H.Mun

1. 서론

인체의 운동을 분석하기 위해 선행되는 일은 인체 운동을 정량적으로 측정하는 일이다. Bone 핀을 사용한 침습적인 방법이 정확한 데이터를 얻는 방법이지만 비윤리적이며 비현실적이다. 그래서 인체 운동 분석을 위해 널리 쓰이고 있는 방법 중의 하나는 피부 마커를 사용한 입체영상 촬영법이다. 이 방법은 측정부위에 광학 마커를 직접 부착하거나 고정기구를 통해 광학 마커를 부착하여, 영상장비를 통해 마커의 궤적을 얻는 방법으로 비침습적이며, 비교적 간편히 사용할 수 있는 장점 때문에 널리 쓰이고 있다. [Cappozzo,1996]

하지만, 이 방법은 카메라의 해상도로 인한 오차나 피부의 떨림으로 인한 에러 등으로 인체 운동 분석시 정확성이 제한 받는다고 보고 된 바 있다. 문헌에 따르면 이들 오차중 피부에 부착된 마커와 피부속의 해부학적 특징점 사이에서 발생하는 오차가 크게는 3cm에 달하는 것으로 보고 되었다. [Cappozzo,1993] 특히, 피부의 움직임으로 인한 오차 문제가 정확한 관절운동 분석을 제한하는 주요한 요인으로 알려져 있다. [Holden,1997] 이 피부 마커의 움직임 오차를 줄이기 위한 방법들이 많은 문헌에서 제시되고 있다. 이들 보정방법은 각각 마커 형상의 변형을 최소화하는 최소자승법을 이용하는 방법[Challis, 1995; Cheze,1995; Soderkvist, 1993; Spoor, 1980; Velpause, 1988]과 통계학적 처리를 이용한 방법[Mun, 2001]이다. 그리고 시스템적인 오차를 줄여주는 방법으로 전역 최적화 방법(Global Optimization Method)이 있다. [Lu, O'Connor, 1999]

최소자승법을 이용할 경우, 정적 캘리브레이션 과정을 통해 기준이 되는 피부 마커 배열을 얻게 된다. 특히 중복 마커셋을 사용할 경우 여러 개의 피부 마커 배열중 하나를 선택하여 기준으로 선택하게 된다. 이 과정을 통해 얻게 되는 피부 마커의 배열 모양에 따라 기구학적 분석 결과의 정확성이 결정된다. 따라서 본 논문에서의 중복 마커셋 기반의 최소자승법을 이용한 피부 마커 움직임 오차의 보정 정도를 비교하고 분석의 정확성을 높이기 위한

* 성균관대학교 생명자원과학대학 바이오메카트로닉스전공

** 농촌진흥청 농촌자원개발연구소 농작업건강연구실

활용방법을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 실험대상

신체 건강하고, 과거에 근골격계 질환을 앓지 않은 성인 남성 3명을 대상으로 실험하였다.

나. 실험장비

본 연구에 사용된 실험장비는 VICON사의 MCam2 카메라 6대와 VICON 460 System이 사용되었다. VICON 460 System은 각 카메라에서 얻은 2차원의 영상들을 3차원으로 구성하여 각 마커의 위치정보를 얻는 시스템이다. 실험대상의 위치를 획득하기 위하여 피부의 움직임이 상대적으로 적은 부위에 표 1과 같이 피부 광학 마커를 부착하였다. 광학 마커의 부착위치는 그림 1에서 보는 바와 같이 대퇴부(Femur)에는 5개의 광학 마커를 부착하였으며, 경골(Tibia)에는 4개의 광학 마커를 부착하였다. 이 마커셋은 국제 의용 생체 공학회(International Society of Biomechanics)에서 제안하고 있는 중복 마커셋(Redundant markerset)이다.

Table 1 The location of optical markers attached.

신체분절	마커	위치	신체분절	마커	위치
THIGH	GT	Greater Trochanter	TIBIA	HF	Head of Fibula
	THI	on Thigh segment skin		TIB	on Tibia segment skin
	THI_1	on Thigh segment skin		TIB_1	on Tibia segment skin
	THI_2	on Thigh segment skin		TIB_2	on Tibia segment skin
	THI_3	on Thigh segment skin		LM	Lateral Malleolus
	LE	Lateral epicondyle			

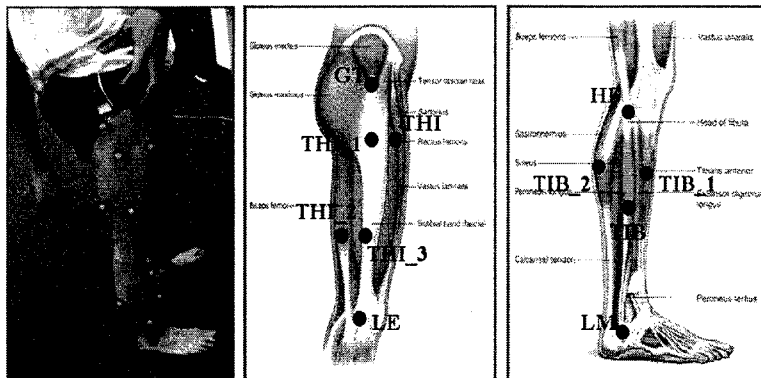


Fig. 1 The redundant marker set.

다. 실험방법

최소자승법을 이용한 운동 분석을 위해 사용될 보행분석 데이터를 Vicon 460 을 사용하여 획득하였다. 운동 궤적 정보는 1초에 120 프레임을 샘플링 하였다. 실험에 참여한 피실험자는 3명으로 피실험자 한 명당 3번의 반복 보행을 실시하였으며, 자연스러운 자세와 보행 속도를 유도하였다. 그리고 실험을 통해 획득된 데이터는 사전 데이터 처리과정으로서 필터링 처리 하였다.

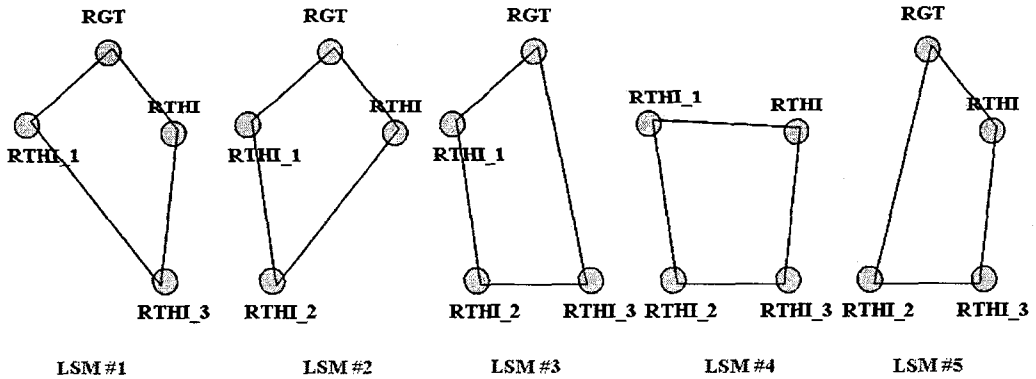


Fig. 2 The array patterns using redundant marker set to apply least square method.

대퇴부 부위에 부착된 5개의 피부 광학 마커를 통해 그림 2에서와 같이 4개의 피부 마커를 가진 5개의 사각형의 배열 모양과 이들 모양을 통해 구한 피부 마커의 위치정보를 평균 처리하여 만든 모양 1 개를 얻을 수 있다. 각각의 배열을 이용 최소자승법을 활용하여 피부 움직임 오차를 보정하여 유용성을 검증하기 위해 문헌 [Lu, O'Connor,1999; Lafortune, 1992]에 제시된 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법으로 탈구 값(Dislocation Value)을 사용하였고, 구하는 식 (1)을 통해 비교하였다. [Lu, O'Connor, 1999]

$$Dislocation Value = \sqrt{(x_T - x_S)^2 + (y_T - y_S)^2 + (z_T - z_S)^2} = \sqrt{(T_1 - T_2)^2} \quad (1)$$

여기서, $T_1 = [x_T \ y_T \ z_T]^T = r_1 + A_1 * S_1'_{KJC}$; $T_2 = [x_S \ y_S \ z_S]^T = (r_{RLE} + r_{RME}) / 2$

T_1 : 대퇴부 지역좌표계에서 구한 무릎관절의 중심점, T_2 : 절대좌표계를 이용해 구한 무릎관절의 중심점이다.

두 번째 방법으로는 대퇴골과 경골에 Bone 핀을 부착하여 무릎관절에서의 기구학적 분석을 한 결과[Lafortune, 1992]와 비교하여 유용성을 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

피실험자 3명을 대상으로 한 탈구 값(Dislocation Value)을 각각의 피부 마커 배열모양에

따라 구하여 비교한 값은 표 2와 같다.

Table 2 The values of dislocation according to the array patterns of skin markers.

Case	Maximum			Minimum			Average		
	Subject 1	Subject 2	Subject 3	Subject 1	Subject 2	Subject 3	Subject 1	Subject 2	Subject 3
DM	60.4988	41.5131	28.8096	10.2429	12.8905	4.0737	38.8393	29.6041	16.0342
LSM #1	44.8727	32.1719	35.2318	6.9991	1.9414	3.4770	15.6383	19.8966	18.8130
LSM #2	37.3211	36.6059	36.3715	4.5910	3.8366	3.3517	19.4392	19.9080	18.1612
LSM #3	38.1395	47.8537	25.1277	4.7910	3.9255	1.6444	19.0837	22.2327	13.6740
LSM #4	30.3798	34.3357	22.5549	4.0849	4.1826	2.6530	15.8257	19.8274	12.6207
LSM #5	31.7646	32.7733	25.7179	4.4792	2.6173	1.9114	16.6459	18.3064	13.4365
LSM TOTAL	34.1210	30.3402	29.8215	5.2529	2.8102	2.0895	15.4073	17.5881	14.9120

배열 모양에 따른 결과를 비교하기 위해 대조군 - 보정방법을 사용하지 않은 경우 - 의 결과를 첨부하였다. 최소자승법을 사용하는 거의 모든 경우 대조군에 비해 탈구 값이 작게 나타났다. 이는 피부 마커의 움직임으로 인해 발생하는 오차의 크기가 줄어들음을 의미한다. [Frigo,1997] 탈구의 값이 배열모양 5가지 경우에 따라 다른 값을 보이고, 이는 보정을 위해 기준이 되는 배열모양에 따라 보정의 결과가 좋을 수도 있고 나쁠 수도 있음을 의미한다. 각 경우에 발생하는 탈구 값의 평균치를 비교해 보면 최소자승법의 결과로 구한 마커 위치 값을 평균 처리하여 구한 배열의 모양을 통해 구한 값이 작게 나왔다.

두 번째 Bone 핀을 이용한 기구학적 분석결과와 임의의 배열 모양과 보정된 배열모양을 평균 처리하여 구한 배열모양의 값을 비교한 그림은 그림 3과 같다.

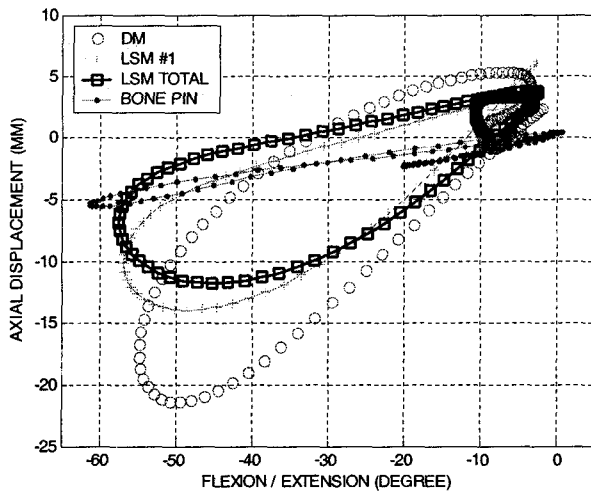


Fig. 3 The comparison with experiment using bone pin

결과는 중복 마커셋이 가지는 여러 가지 경우의 수를 활용하여 잘못된 배열을 선택하여 발생하는 부정확한 기구학적 분석결과를 피하고, 좀더 정확한 분석을 이뤄질 수 있도록 방법

그림 3은 무릎의 굽힘/신전운동을 상대로 한 침하/분리현상을 나타낸 그래프이다. Bone 핀의 결과에 근접한 데이터는 최소자승법을 통해 보정한 결과들을 평균 처리하여 분석한 결과인 LSM TOTAL 이 가정 근접한 결과를 보여주었다.

4. 요약 및 결론

본 논문에서의 중복 마커셋 기반의 최소자승법을 이용한 피부 마커 움직임 오차의 보정 정도를 비교하고 분석의 정확성을 높이기 위한 활용방법을 제시하고자 하였다. 연구

을 제시하였다. 그리고 여러 가지의 배열모양을 통해 획득된 마커 위치 데이터를 평균 처리하여 분석을 할 경우 좀더 정확한 분석 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] Apkarian, J., Nauman, S., Cairns, B., 1989. A three-dimensional kinematic and dynamic model of the lower limb. *Journal of Biomechanics* 22, 143 - 155.
- [2] Cappello, A., Cappozzo, A., Lucchetti, L., La Palombara, P.F., Leardini, A., 1997. Multiple anatomical landmark calibration for optimal bone pose estimation. *Human Movement Science* 16, 259 - 274.
- [3] Cappozzo, A., Catani, F., Della Croce, U., Leardini, A., 1995a. Position and orientation of bones during movement: anatomical frame definition and determination. *Clinical Biomechanics* 4, 171 - 178.
- [4] Challis, J.H., 1995. A procedure for determining rigid body transformation parameters. *Journal of Biomechanics* 6, 733 - 737.
- [5] Cheze, L., Fregly, B.J., Dimnet, J., 1995. A solidification procedure to facilitate kinematic analyses based on video system data. *Journal of Biomechanics* 28, 879 - 884.
- [6] Frigo, M. Rabuffetti, 1998, Multifactorial estimation of hip and knee joint centers for clinical application of gait analysis, *Gait and Posture* 8, 91 - 102.
- [7] Gage, J.R., 1991. *Gait Analysis in Cerebral Palsy*. MacKeith Press, London, England.
- [8] Holden J.P, Orsini J.H, Siegel K.L, Kepple T.M, Gerber L.H, Stanhope SJ, 1997, Surface movement errors in shank kinematics and knee kinetics during gait. *Gait Posture* 5, 217-227.
- [8] J.H.Mun, J.S.Freeman., K.Rim 2001, Human Gait Analysis Using Averaged Coordinate Reference System with Redundant Markers, *Gait and Posture*(Accepted for publication)
- [9] Lu TW, O'Connor JJ. 1999, Bone position estimation from skin marker coordinates using global optimization with joint constraints. *Journal of Biomechanics* 32(2), 129-134.
- [10] Soderkvist, I., Wedin, P.A., 1993. Determining the movements of the skeleton using well-configured markers. *Journal of Biomechanics* 12, 1473 - 1477.
- [11] Spoor, C.W., Veldpaus, F.E., 1980. Rigid body motion calculated from spatial coordinates of markers. *Journal of Biomechanics* 13, 391 - 393.
- [12] Veldpaus, F.E., Woltring, H.J., Dortmans, L.J.M.G., 1988. A leastsquares algorithm for the equiform transformation from spatial marker coordinates. *Journal of Biomechanics* 21, 45 - 54.